干旱区地理
ARID LAND GEOGRAPHY

doi:10.12118/j.issn.1000-6060.2019.05.23

基于栅格的关中平原城市群人居环境质量综合评价①

魏献花[1]， 白永平[1]， 车 磊[1]， 王 栋[2,3]， 效 瑞[1]， 张文娴[1]
（1 西北师范大学地理与环境科学学院，甘肃 兰州 730070； 2 中国科学院西北生态环境资源研究院冰冻圈科学国家重点实验室，甘肃 兰州 730000； 3 中国科学院大学，北京 100049）

摘 要：基于自然与人文多重栅格数据，构建人居环境质量综合指数评价模型，分析2015年关中平原城市群人居环境的空间分异格局，并对人口分布与人居环境质量的协同性进行探讨。结果表明：(1)人居自然环境呈现出自东向西，由山地、高原向平原、谷地依次递减的空间分布格局，受地形影响最为明显，地形起伏度与人居自然环境呈负相关关系。(2)人居人文环境表现出平原低、山区高，城镇高于乡村的空间分布格局，受城市行政层级影响显著。(3)关中平原城市群人居环境综合质量指数介于0.216~0.716之间，呈现出以关中平原、汾河谷地向外梯级递减的带状空间分布格局。(4)关中平原城市群人口密度与人居环境质量空间分布显著一致，总体呈现出平原高于山地，城市高于乡村的空间分布规律，人居环境质量越高，人口密度越大，土地利用也越充分。

关 键 词： 人居环境质量； 人口分布； 协同性； 关中平原城市群

人居环境是人类生存发展的主要场所[1]。近几十年来，以中国为代表的发展中国家在大规模的工业化和城市化进程，取得举世瞩目的发展成就。但土地荒漠化、水土流失、大气和水资源污染等诸多严峻的环境问题及交通拥堵、发展不平衡等严重的社会问题也在不断恶化。经济发展与人民生活水平提高和资源环境与社会问题矛盾突出之间不平衡的问题愈加显著，人类对居住环境的要求愈加严格。十九大报告明确指出，中国社会主要矛盾已经转化为人民日益增长的美好生活需要和不平衡不充分的发展之间的矛盾[2]。当前中国“最突出的不平衡之一”，就是经济发展和生态环境保护的不协调，人口、经济和资源环境的不平衡，以及人与自然的不和谐。因此，如何协调这一不平衡问题，实现人口、经济和资源环境协调发展成为可持续发展的迫切需要。

自希腊学者道萨迪亚斯创立“人类聚居学”理论以来[3]，人居环境的研究迅速升温。吴良镛[4]参照道氏学说，根据中国特点提出和发展了人居环境科学的理论内涵，将人居环境系统划分为自然、人类、社会、居住和支撑等五大系统以及全球、区域、城市、社区（村镇）和建筑五大层次。根据他的理论，国内外学者对不同系统，不同层次的人居环境进行了大量研究[5-12]。国外学者多注重评价内容的扩展和深入，评价指标多样，并建立了生态居住区评价体系，对人居环境进行定量评估[5-6]。我国对人居环境的研究主要集中在两个方面：一是对人居环境自然适宜性及影响因子研究。通过GIS和RS采用栅格数据综合加权来研究地形地貌、气候、水文条件、土地利用/土地覆盖等最基本的自然因子对国家、区域和省域范围的人居环境进行评价[7-9]。二是基于行业统计数据、专题问卷调查等方法，通过分析交通、医疗卫生和休闲娱乐等公共基础设施以及教育、就业、犯罪等社会环境条件对城市和农村人居环境质量进行评估[10-12]。但较少有研究能综合考虑自然与人文两方面对区域人居环境进行系统性的评价。

关中平原城市群地处中国内陆中心，在国家现代化建设大局和全方位开放格局中具有独特战略地位[13]，大力发展该区对推动全国经济增长和市场空

① **收稿日期：**2019-03-01； **修订日期：**2019-07-12
基金项目：国家自然科学基金(40771054)；甘肃省重点研发计划(18YF1FA052)；高等学校博士学科点专项科研基金联合资助课题(20106203110002)
作者简介：魏献花(1994-)，女，河南商丘人，硕士研究生，研究方向：城市化与区域发展. E-mail:nwnuwxh@126.com
通讯作者：白永平，男，江苏南京人，博士，教授，博士生导师，研究方向为区域发展与管理. E-mail:baiyp@nwnu.edu.cn

间拓展,西部大开发及"一带一路"建设有重要意义。故本文基于自然与人文多重要素,构建人居环境质量综合指数,分析关中平原城市群人居环境的空间分异特征,探讨人口分布与人居环境质量的协同性,以期为区域人地关系可持续性发展和政策制定提供参考。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

关中平原城市群地跨陕西、甘肃和山西三省,下辖 11 个地级市,共 90 个县(区),总面积 1.071×10^5 km^2,2017 年末常住人口 3.863×10^7 人,地区生产总值 1.59×10^{12}元 [13](图 1)。

1.2 数据来源与处理

本研究所需数据包括两类,一是表达区域自然和人文环境各要素的栅格数据,包括来源于地理空间数据云的 90 m 分辨率的数字高程模型 DEM 和 500 m 分辨率的 MODND1M 月合成 *NDVI*;2015 年的土地利用数据[14];来源于中国气象数据网的 1978—2015 年关中及周边 35 个气象台站的月值数据(平均气温、相对湿度、日照时数、风速及降水量);2015 年年平均 NPP/VIIRS 夜间无云灯光数据;美国社会经济数据与应用中心(SEDAC)的全球年平均 $PM_{2.5}$格点数据集[15];2010 年人口和 GDP 数据来自全球变化科学研究数据出版系统[16-18],并查阅 2010 年和 2015 年各省统计年鉴,得到 5 a 间各县区人口和 GDP 的增长率,以此计算得到的 2015 年研究区人口密度和 GDP 的栅格数据。二是表达人口和经济社会发展的统计数据,主要有 2010 年和 2015 年陕西、山西和甘肃 3 省的统计年鉴。从而建立关中平原城市群人居环境质量数据库,并将所有数据重采样为 1 km 分辨率进行制图分析。

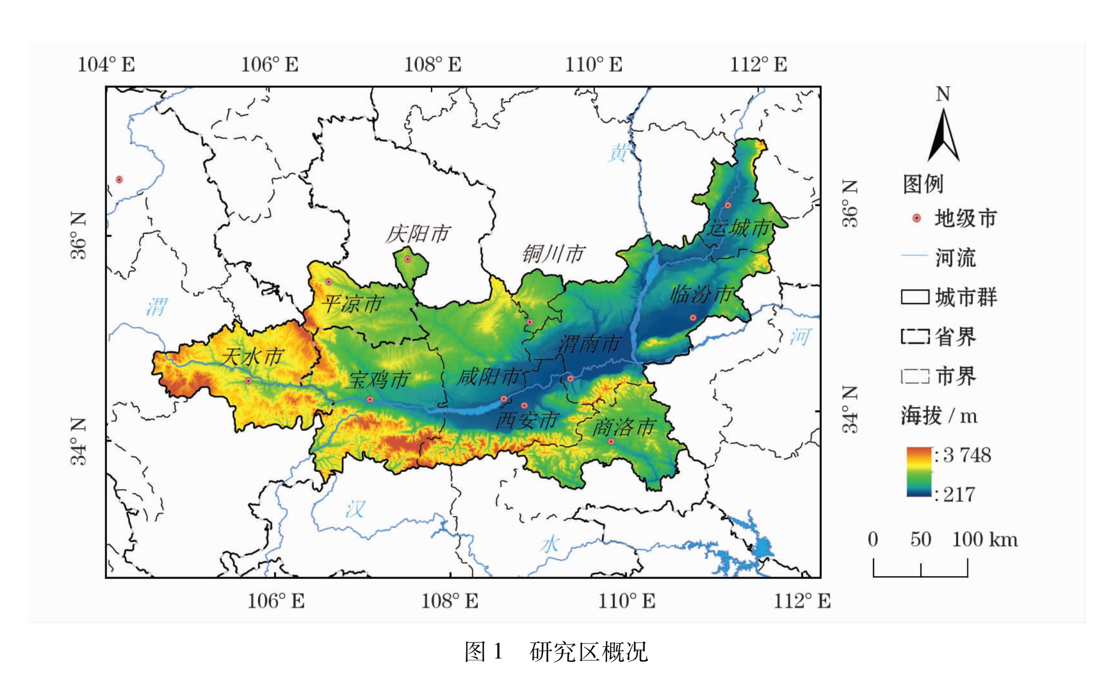


图 1　研究区概况

Fig. 1　The survey of research area

2 研究方法

2.1 指数构建与计算方法

人居环境既受客观自然条件制约,也受人类主观活动的影响。地形、水文、气候和植被等因素是人类生存发展的基础,决定人口分布的原始格局;经济发展、基础设施以及环境污染等人文要素是人类活动的产物,一定程度上影响自然环境的空间格局。基于此,本文结合自然要素(地形起伏度、气候、水文和地被指数)以及人文要素(灯光、$PM_{2.5}$浓度、交通通达度和 GDP 指数)构建关中平原城市群人居环境质量综合指数。计算方法如下:

2.1.1 地形起伏度

$$RDLS = ALT/1000 + \{[\mathrm{Max}(H) - \mathrm{Min}(H)] \times [1 - P(A)/A]\}/500 \quad (1)$$

式中:*RDLS* 为地形起伏度;*ALT* 为某一栅格单元为中心一定区域内的平均海拔高度(m);Max(*H*)和 Min(*H*)分别为区域内最高与最低海拔(m);*A* 为区域总面积;*P*(*A*)为区域内坡度 5°的地域面积[7]。

2.1.2 气候指数

$$THI = T - 0.55 \times (1 - f) \times (T - 58) \quad (2)$$

$$T = 1.8t + 32 \quad (3)$$

$$K = -(10\sqrt{v} + 10.45 - v) \times (33 - t) + 8.55S \quad (4)$$

式中：THI 为湿润指数；K 为风效指数；T 为月平均华氏温度（F）；f 为月平均空气相对湿度（%）；t 为月平均气温（℃）；v 为地面 10 m 以上高度处的平均风速（$m \cdot s^{-1}$）；S 为日照时数（$h \cdot d^{-1}$）。采用极差标准化法把 THI 和 K 转换为 0 ~ 1 之间的数值即为气候指数。

2.1.3 水文指数

$$HI = NAP \times \alpha + NWD \times \beta \quad (5)$$

式中：HI 为水文指数；NAP 为归一化的年降水量；NWD 为归一化的水域面积；α、β 分别降水量、水域面积的权重，将参数设置为 $\alpha = 0.8$，$\beta = 0.2$[9]。

2.1.4 地被指数 地被指数是地表植被覆盖与土地利用类型的综合表征，计算公式为：

$$LCI = NDVI \times LT_i \quad (6)$$

式中：LCI 为地被指数；$NDVI$ 为归一化植被指数；LT_i 为各土地利用类型的权重，权重参照相关研究[9]和该区域土地利用类型实况确定。

2.1.5 夜间灯光指数 NPP-VIIRS 夜间灯光数据，具有较高的灵敏度和清晰度，能更丰富准确地反映地表人类经济活动的空间信息[19]。

2.1.6 空气质量指数 采用美国社会经济数据与应用中心（SEDAC）的全球年平均 $PM_{2.5}$ 格点数据集[15]，将 MODIS、MISR 和 SeaWiFS 的气溶胶光学厚度（AOD）数据使用地理加权回归（GWR）合成，空间分辨率为 0.01°。

2.1.7 交通通达度指数 采用成本加权栅格集成法，结合区域实际情况，将地表类型分为陆地、道路两种，设置不同类型交通网络时速，选定出行 1 km 大约所需分钟数设定时间成本值[20]，公式如下：

$$\cos t = \frac{1}{v} \times 60 \quad (7)$$

式中：$\cos t$ 为时间成本值；v 为各类道路的设定时速。

2.1.8 GDP 指数 国内生产总值（GDP）是衡量地区经济发展水平的重要指标。经济发展与人口分布、城镇化进程密切相关，是促进人口与资源环境和社会经济协调发展的关键指标之一[21]。

对各单因子指数进行极差标准化处理，其中气候、水文、地被、灯光、交通以及 GDP 等正向指标，采用公式（8）进行标准化。而地形起伏度、$PM_{2.5}$ 等逆向指标，采用公式（9）进行标准化处理。

$$S_i = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min}) \quad (8)$$

$$S_i = (x_{max} - x_i) / (x_{max} - x_{min}) \quad (9)$$

式中：S_i 为第 i 个栅格的某一指数的标准化值；x_i 为 i 栅格点的原始值；x_{max} 和 x_{min} 为所有栅格的最大值和最小值。

2.2 综合指数权重与模型构建

基于栅格的人居环境质量评价多采用相关分析法、熵值法、专家打分法、层次分析法、主成分分析法和均方差法等方法确定各因子权重[6-12]。本文以地理探测器中的因子探测法，根据各单因子对人口分布的解释力程度确定权重[22]，公式如下：

$$q = 1 - \frac{\sum_{h=1}^{L} N_h \sigma_h^2}{N\sigma^2} = 1 - \frac{SSW}{SST} \quad (10)$$

式中：L 为人口或环境因子的分层；N_h 和 N 分别为层 h 和全区的单元数；σ_h^2 和 σ^2 分别是层 h 和全区人口的方差；SSW 和 SST 分别为层内方差之和（within sum of squares）和全区方差之和（total sum of squares）；q 为人居环境各因子对人口影响力指标，q 值越大表明因子对人口的影响愈强，反之愈弱。依据各单因子 q 值占所有因子 q 值总和的比值确定权重，分别计算人居环境自然要素、人文要素和人居环境质量综合指数，公式如下：

$$NEI_i = \alpha \times NRDLS_i + \beta \times NCI_i + \chi \times NHI_i + \delta \times LCI_i \quad (11)$$

$$HMEI_i = \varepsilon \times NNLI_i + \theta \times NAQI_i + \psi \times NTAD_i + \gamma \times GDP_i \quad (12)$$

$$HSCI_i = \alpha \times NRDLS_i + \beta \times NCI_i + \chi \times NHI_i + \delta \times LCI_i + \varepsilon \times NNLI_i + \theta \times NAQI_i + \psi \times NTAD_i + \gamma \times GDP_i \quad (13)$$

式中：NEI_i、$HMEI_i$ 和 $HSCI_i$ 分别为第 i 个栅格的自然、人文和综合要素指数；$NEDLS_i$、NCI_i、NHI_i、LCI_i、$NNLI_i$、$NAQI_i$、$NTAD_i$ 和 GDP_i 分别为第 i 个栅格标准化后的地形起伏度、气候指数、水文指数、地被指数、灯光指数、空气质量指数、交通通达指数和 GDP 指数；α、β、χ、δ、ε、θ、φ、γ 分别为人居环境各单因子指数的权重（表 1）。

表 1　关中平原城市群人居环境质量各因子权重

Tab.1　Weights of various factors of urban settlement in Guanzhong Plain urban agglomeration

评价要素	自然要素				人文要素			
单因子指数	地形起伏度	气候指数	水文指数	地被指数	灯光指数	$PM_{2.5}$	交通通达度	GDP
单因子权重	0.441	0.028	0.163	0.368	0.306	0.215	0.064	0.415
综合权重	0.221	0.014	0.082	0.183	0.153	0.107	0.032	0.208

3　结果与分析

3.1　关中平原城市群自然要素空间格局

3.1.1　自然单因子指数空间格局　受秦岭、六盘山及太行山的影响,西部和南部地形起伏度较高,而中部关中平原和东北部汾河谷地较低,空间差异较大(图 2a)。地被指数受地形、植被、气候及土地利用等因素的影响,总体呈现出东部高于西部的空间分布特征(图 2b)。气候指数东高西低,具有明显的经向分异特征(图 2c)。水文指数表现出自北向南递增规律,在南部秦岭山区最高,而关中平原、汾河谷底及陇东地区较低(图 2d)。

3.1.2　自然复合指数空间格局　受地形因素影响明显,地形越平坦,自然复合指数越高(图 2e);受气候和植被因素影响,自然复合指数自东向西呈现出明显的递减规律。综合 4 个自然单因子指数,关中平原城市群自然复合指数的空间分布呈现出条带状。汾河谷地和关中平原自然复合指数均值在 0.6 以上,而西部陇中黄土高原地区最低,自然指数平均值小于 0.5。

3.2　关中平原城市群人文要素空间格局

3.2.1　人文单因子指数空间格局　灯光和 GDP 指数的空间分布高度相似,城市行政层级结构明显,在城市及周边较发达地区灯光指数较高,农村地区灯光指数极低(图 3a、3d)。$PM_{2.5}$的空间分布受地形和人口密度影响显著,关中平原和汾河谷地的人口密度大,人类生产生活排放大量污染物,且三面环山,海拔较低,地形平坦,不利于空气污染物扩散,空气污染远高于周围山区(图 3b)。交通通达度空间差异明显,在平原和河谷地区较高,而山区较低(图 3c)。

3.2.2　人文复合指数空间格局　关中平原城市群人文复合指数表现出平原低、山区高,城镇高于乡村的空间分布格局,受城市行政层级影响显著(图 3e)。关中平原和汾河谷地虽经济和交通情况良好,但受严重空气污染的影响,人文指数反而低于周边山区。城镇在平原与山区也呈现不同的分异格局。

天水、平凉、宝鸡等山区城镇因良好的交通、经济、空气条件,人文指数明显高于乡村地区。西安、运城等平原地区城市布局众多冶金等高污染重工业,虽交通发达,经济基础良好,但城市中心的人文指数却低于外围城郊地区。

3.3　人居环境质量综合指数空间格局

综合自然与人文各要素指数,经权重赋值和栅格计算,结合区域实况与相关分级标准,得到关中平原城市群人居环境质量综合指数空间分布,并将其划分为不适宜、临界适宜、一般适宜、比较适宜和高度适宜区 5 级。关中平原城市群人居环境质量介于 0.216~0.716 之间,既具有自然要素由东向西递减,平原高于山地的空间规律,又具备人文要素城市高于乡村的分布特性,呈现出以关中平原、汾河谷地向外梯级递减的带状空间分布格局。其中,西安市为中心,咸阳、宝鸡、运城等次中心,商洛市因良好的自然复合指数和空气质量也形成了次级中心,人居环境质量比较适宜(表 2,图 4)。

不适宜地区集中分布在海拔 3 km 左右的太白山山区,地势起伏大,海拔高,受自然环境限制,不利于人类的生产生活。临界适宜区广泛分布在陇中黄土高原、太白山和华山等高海拔山地,主要为天水市的武山、甘谷、秦安等地。受降水、植被、水文条件限制,该地区地势起伏大,植被覆盖低,适宜耕地面积少;交通通达度指数低至 0.72,基础设施薄弱,经济发展落后,人居环境综合指数均值仅为 0.32,是关中平原城市群人居环境较为恶劣的区域。一般适宜区分布在平原外围的低海拔山地,约占区域总面积的 43.64%。水文、气候、植被条件优越,地形起伏小,自然条件相对良好,但经济发展落后,城镇化水平低,无地级市等比较大的节点城市分布。比较适宜区主要集中分布在关中平原,汾河谷地等河谷地区,地势平坦,地形条件优越,耕地多,气候适宜,受自然因素限制小;京昆高速贯通南北,陇海铁路和连霍高速连接东西,省道,县道等交通路网密集;夜间

图2 关中平原城市群人居环境自然指数空间分布

Fig.2 Spatial distribution of natural index of human settlements in Guanzhong Plain urban agglomeration

图3 关中平原城市群人居环境人文指数空间分布

Fig. 3 Spatial distribution of humanistic index of human settlement in Guanzhong Plain urban agglomeration

表 2 关中平原城市群人居环境适宜性评价

Tab. 2 Suitability evaluation of human settlements in Guanzhong Plain urban agglomeration

级别	分级标准	土地		人口		人口密度 / 人·km^{-2}
		面积 / km^2	比例 / %	总量 / 10^4 人	比例 / %	
不适宜	<0.3	638.56	0.60	3.86	0.10	49
临界适宜	0.3 ~ 0.35	10 043.80	9.38	14.29	0.37	122
一般适宜	0.35 ~ 0.4	46 755.23	43.64	774.92	20.06	143
比较适宜	0.4 ~ 0.45	45 724.87	42.68	2 352.18	60.89	442
高度适宜	>0.45	3 966.35	3.70	717.75	18.58	1 556

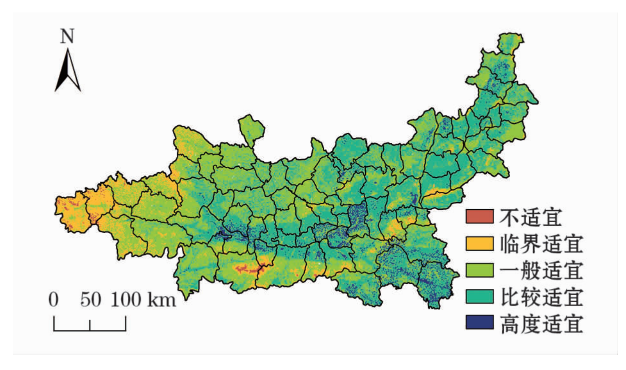


图 4 关中平原城市群人居环境质量综合指数

Fig. 4 Comprehensive index of human settlements quality in Guanzhong Plain urban agglomeration

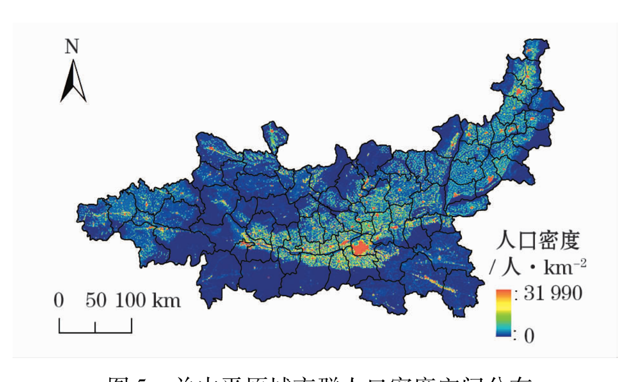


图 5 关中平原城市群人口密度空间分布

Fig. 5 Spatial distribution of population density in Guanzhong Plain urban agglomeration

灯光指数高,城镇化水平比较高,经济发展好,人口总量最大,综合条件优异,较适宜人类居住。高度适宜区主要集中分布在西安、咸阳、宝鸡以及商洛等规模较大的城市,虽饱受空气污染影响,但该区自然条件优越,基本不受自然因素限制;经济较为发达,交通网络密集,交通方式健全,基础设施完善,城镇化水平高,因而人居环境质量综合指数最高,人口密度高达 1 556 人·km^{-2}。

3.4 人居环境指数与人口分布的协同性

3.4.1 人口分布空间格局 人居环境科学的基础是"人"与"环境",人口分布与人居环境质量的协同可持续发展,对研究区域人口空间分布格局,构建和谐的人地关系具有重大意义。关中平原城市群人口空间分布与人居环境质量具有显著的空间一致性,人口主要分布于关中平原和汾河谷地,以西安市为中心,沿东西向的陇海铁路、连霍高速及南北向的京昆、包茂高速等主要交通轴线向外围递减。以宝鸡市、渭南市、天水市和运城市等地级市形成次级密集区,向外围人口密度逐步下降。总体呈现出平原高于山地,城市高于乡村的空间分布规律(图 5)。

3.4.2 人居环境质量与人口分布协同性 自然单因子对人口分布的解释力强弱依次为:地形起伏度>地被指数>水文指数>气候指数。地形起伏度的解释力最大(0.081),是制约关中平原城市群人口分布的最主要的自然因素;气候指数的解释力最小(0.005),表明研究区人口分布受气候条件的影响较小。人文单因子对人口分布的解释力强弱排序为:GDP 指数>灯光指数>空气质量指数>交通通达度。GDP 指数的解释力最大(0.424),交通通达度最小(0.066),因而经济发展和城市化水平的高低是制约研究区人口分布格局的最主要的人文因素。

对各单因子与人口密度进行相关分析发现,气候指数、灯光指数、交通通达度和 GDP 指数与人口分布均呈正相关,而地形起伏度、水文、地被和空气质量指数与人口分布成负相关(图 6)。气候适宜、经济发达、工业化程度高、基础设施完善的地区人口密度大。但这些地区往往存在着严重的空气污染,导致空气质量与人口密度负相关。该区域地跨长江黄河两大流域,自然环境差异巨大,地形复杂,降水量和地表覆被都有明显的纬向分异规律,自南向北逐渐递减,但人口多分布在地形平坦的关中平原和汾河谷地,而南部秦岭山区人口较少,导致地形起伏度、水文和地被指数与人口分布呈负相关。

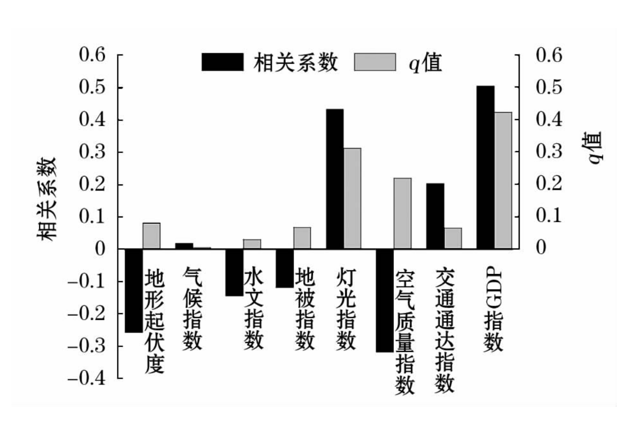


图6　关中平原城市群人居环境各单因子与人口密度的 q 值与相关系数

Fig. 6　Value q and correlation coefficient of each single factor and population density in Guanzhong Plain urban agglomeration

在ArcGIS空间分析模块下，将人居环境质量综合指数与人口密度进行匹配，从而得到每个栅格像元所对应的综合指数与人口密度，利用SPSS软件进行相关分析，发现两者的相关系数为0.242（$P<0.001$），为极显著相关。

为进一步反应人口分布与人居环境的相似性和差异性，本文建立人居环境质量综合指数的人口累积频率曲线和土地面积累积频率曲线（图7）。二者的变化趋势一致为"S"型曲线，当综合指数在0.4～0.45的比较适宜区时，二者的斜率最大，表明人口和土地面积在此区间内最为集中；在综合指数小于0.4的不适宜、临界适宜和一般适宜地区土地处于未饱和状态，在54%的土地上只居住了约20%的人口；在综合指数大于0.4的比较适宜区与高度适宜区里，土地处于过饱和状态，在47%的土地上居住了约80%的人口。因此，人居环境综合指数越高，人口密度越大，土地利用也越充分。

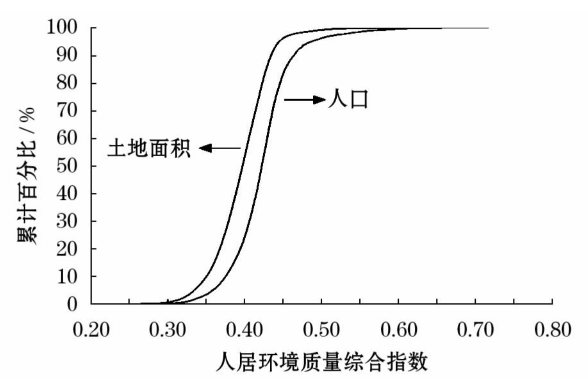


图7　关中平原城市群人口累积百分比与土地面积累积百分比曲线

Fig. 7　Land and population cumulative percentage curves in Guanzhong Plain urban agglomeration

4　结论与讨论

4.1　结论

本文基于关中平原城市群人居环境质量空间分异格局，并对关中平原城市群人口分布与人居环境质量的协同性分析，得出以下结论：

（1）人居环境自然指数的空间分布受地形影响显著，地形越平坦，自然要素指数越高。因气候和植被因子作用，自然要素自东向西呈现出明显的递减规律，东北部汾河谷地和中部关中平原人居环境自然指数较高，而西部陇中黄土高原最低。

（2）人居环境人文指数呈现出平原低、山区高，城市层级结构明显的空间分布格局。关中平原和汾河谷地人文指数低于周边山区，山区的城镇地区人文指数要明显高于乡村地区，平原地区的城市中心的人文指数要比城郊地区低。

（3）关中平原城市群人居环境质量空间分布既具有自然指数由东向西递减，平原高于山地的空间分布规律，又具备人文指数城市高于乡村的分布特征，呈现出以关中平原、汾河谷地向外梯级递减的带状空间分布格局。

（4）关中平原城市群人口分布与人居环境质量具有显著的空间一致性，总体呈现出平原高于山地，城市高于乡村的空间分布规律。人口密度与人居环境质量分布成正比，人居环境适宜性越高，人口密度越大。

4.2　讨论

人居环境是一个复杂的系统，要想系统而全面的表达区域人居环境的适宜性，模型指标的选取尤为重要。地形、水文、气候和植被等因素是人类生存的自然基础，决定人口的原始分布，而经济发展、基础设施以及环境污染等人文要素是人类活动的产物，是影响人口迁移的主要因素。但前人的研究多偏重自然因素对人居环境的影响[7-9]，而人文因素却较少涉及。本研究综合考虑了自然与人文两方面的影响，选取了地形、气候、水文、地表覆被、经济发展，环境污染，交通等宏观指标来构建人居环境质量模型，较为全面的评价了关中平原城市群的人居环境适宜性。但影响人民生活质量的教育、医疗卫生、休闲娱乐等公共服务指标尚未涉及，在今后的研究中应当综合考虑这些因素的影响，进一步完善人居

环境评价体系。此外,由于数据的可获取性限制,我们只研究了一个时间节点的人居环境适宜性格局。今后可以利用多时相数据来研究区域人居环境的演变,探究影响区域人居环境适宜性变化和人口分布格局变迁的主要环境因子。

参考文献(References)

[1] YAN Shuai, WANG Lixian. The mian problems in the ecological environment of China and their countermeasures[J]. Forestry Studies in China, 2000, 2: 70 – 75.

[2] 习近平. 决胜全面建成小康社会 夺取新时代中国特色社会主义伟大胜利——在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告[N]. 人民日报, 2017 – 10 – 28 (1). [XI Jinping. Building a moderately prosperous society in all respects to win the great victory of socialism with Chinese characteristics for a new era: Report on the 19th national congress of the communist party of China[N]. People's Daily, 2017 – 10 – 28 (1).]

[3] DOXIADIS C A. Action for human settlements[M]. Athens: Athens Publishing Center, 1975.

[4] 吴良镛. 人居环境科学导论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2001. [WU Liangyong. Introduction to sciences of human settlements. Beijing: China Architecture and Building Press, 2001.]

[5] FRADKIN A. Early human settlement and natural formation of the Florida Everglades, USA: The Ichthyoarchaeological evidence[J]. Journal of Archaeological Science Reports, 2006, 8: 463 – 469.

[6] SETIOKO B, PANDELAKI E E, MURTINI T W. Towards sustainable urban growth: The unaffected fisherman settlement setting (with case a study Semarang Coastal Area)[J]. Procedia Environmental Sciences, 2013, 17: 401 – 407.

[7] 封志明,唐焰,杨艳昭,等. 基于 GIS 的中国人居环境指数模型的建立与应用[J]. 地理学报, 2008, 63(12): 1327 – 1336. [FENG Zhiming, TANG Yan, YANG Yanzhao, et al. Establishment and application of human settlements environment index model (HEI) based on GIS[J]. Acta Geographica Sinica, 2008, 63(12): 1327 – 1336.]

[8] 阿依努尔·买买提,时丕龙,赵改君,等. 基于 GIS 的新疆和田地区人居环境适宜性评价[J]. 干旱区地理, 2012, 35(5): 847 – 855. [MAMAT Aynur, SHI Pilong, ZHAO Gaijun, et al. Evaluations of living environment suitability of Hotan Prefecture in Xinjiang based on GIS[J]. Arid Land Geography, 2012, 35(5): 847 – 855.]

[9] 郝慧梅,任志远. 基于栅格数据的陕西省人居环境自然适宜性测评[J]. 地理学报, 2009, 64(4): 498 – 506. [HAO Huimei, REN Zhiyuan. Evaluation of nature suitability for human settlement in Shaanxi Province based on grid data[J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(4): 498 – 506.]

[10] MAHMOUDI M, AHMAD F, ABBASI B. Livable streets: The effects of physical problems on the quality and livability of Kuala Lumpur streets[J]. Cities, 2015, 43(43): 104 – 114.

[11] 杨兴柱,王群. 皖南旅游区乡村人居环境质量评价及影响分析[J]. 地理学报, 2013, 68(6): 851 – 867. [YANG Xingzhu, WANG Qun. Evaluation of rural human settlement quality difference and its driving factors in tourism area of Southern Anhui Province[J]. Acta Geographica Sinica, 2013, 68(6): 851 – 867.]

[12] 宋永永,薛东前,代兰海. 生态脆弱能源区人居环境与经济协调发展时空格局及演化机制——以晋陕蒙接壤区为例[J]. 干旱区地理, 2017, 40(6): 1328 – 1337. [SONG Yongyong, XUE Dongqian, DAI Hailan. Spatial-temporal pattern and evolution mechanism of coordinated development of human settlement environment and economy in energy accumulation and vulnerable ecology regions: A case of contiguous areas among Shanxi-Shaanxi-Inner Mongolia[J]. Arid Land Geography, 2017, 40(6): 1328 – 1337.]

[13] 国家发展改革委,住房城乡建设部. 关中平原城市群发展规划[Z]. 2018 – 01. [National Development and Reform Commission, Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China (MOHURD). The development plan of Guanzhong plain urban agglomeration[Z]. 2018 – 01.]

[14] 徐新良,刘纪远,张树文,等. 中国多时期土地利用土地覆被遥感监测数据集(CNLUCC)[DB/OL]. 中国科学院资源环境科学数据中心数据注册与出版系统. [2018 – 07 – 21]. http://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx? DOIid = 54. [XU Xinliang, LIU Jiyuan, ZHANG Shuwen, et al. China's multi temporal land use and land cover remote sensing monitoring data set (CNLUCC)[DB/OL]. Resource and Environment Data Cloud Platform. [2018 – 07 – 21]. http://www.resdc.cn/DOI/doi.aspx? DOIid = 54.]

[15] DONKELAAR V A, MARTIN R V, BRAUER M, et al. Documentation for the Global annual $PM_{2.5}$ grids from MODIS, MISR and SeaWiFS aerosol optical depth (AOD) with GWR, 1998—2016[DB/OL]. NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC). [2018 – 03 – 30]. https://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/sdei-global-annual-gwr-pm2-5-modis-misr-seawifs-aod.

[16] 黄耀欢,江东,付晶莹. 中国公里网格 GDP 分布数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统. [2014 – 01 – 07]. http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx? Id = 125. [HUANG Yaohuan, JIANG Dong, FU Jingying. 1 km grid GDP dataset of China[DB/OL]. Global Change Research Data Publishing & Respoitary. [2014 – 01 – 07]. http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx? Id = 125.]

[17] 付晶莹,江东,黄耀欢. 中国公里网格人口分布数据集[DB/OL]. 全球变化科学研究数据出版系统. [2014 – 01 – 06]. http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx? Id = 131. [FU Jingying, JIANG Dong, HUANG Yaohuan. 1 km grid GDP dataset of China[DB/OL]. Global Change Research Data Publishing & Respoitary. [2014 – 01 – 06]. http://www.geodoi.ac.cn/WebCn/doi.aspx? Id = 131.]

[18] 封志明,唐焰,杨艳昭,等. 中国地形起伏度及其与人口分布的

相关性[J]. 地理学报,2007,62(10):1073 - 1082. [FENG Zhiming,TANG Yan,YANG Yanzhao,et al. The relief degree of land surface in China and its correlation with population distribution[J]. Acta Geographica Sinica,2007,62(10):1073 - 1082.]

[19] SHI K,HUANG C,YU B,et al. Evaluation of NPP-VIIRS night-time light composite data for extracting built-up urban areas[J]. Remote Sensing Letters,2014,5(4):358 - 366.

[20] 王振波,徐建刚,朱传耿,等. 中国县域可达性区域划分及其与人口分布的关系[J]. 地理学报,2010,65(4):416 - 426. [WANG Zhenbo,XU Jiangang,ZHU Chuangeng,et al. The county accessibility divisions in China and its correlation with population distribution[J]. Acta Geographica Sinica,2010,65(4):416 - 426.]

[21] 杨猛兴. 人口、资源环境、经济与社会协调发展研究[D]. 重庆:西南财经大学,2014. [YANG Mengxing. Study on the coordinated development of population,resources,environment,economy and society[D]. Chongqing:Southwestern University of Finance and Economics,2014.]

[22] 王劲峰,徐成东. 地理探测器:原理与展望[J]. 地理学报,2017,72(1):116 - 134. [WANG Jinfeng,XU Chengdong. Geodetector:Principle and prospective[J]. Acta Geographica Sinica,2017,72(1):116 - 134.]

Evaluation of human settlement environment quality of urban agglomeration in Guanzhong Plain based on grid data

WEI Xian-hua[1], BAI Yong-ping[1], CHE Lei[1], WANG Dong[2,3], XIAO Rui[1], ZAHNG Wen-xian[1]

(1 *College of Geography and Environmental Science, Northwest Normal University, Lanzhou* 730070, *Gansu, China*; 2 *State Key Laboratory of Cryosphere Science, Northwest Institute of Ecological Environment and Resources, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou* 730000, *Gansu, China*; 3 *Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049, *China*)

Abstract: Based on the multi-grid data of nature and humanities, this paper constructed the comprehensive index of human settlement environment quality, analyzed the spatial differentiation characteristics of human settlement environment of the urban agglomeration in Guanzhong Plain in Shaanxi and Shanxi Province, China in 2015, and discussed the correlation between population distribution and human settlement environment quality. The results showed as follows: (1) The natural environment of human settlements shows a spatial distribution pattern of successive diminishing from the east to the west, from the mountainous areas and plateaus to the plains and valleys, which is mostly affected by topographic factors. The terrain relief amplitude has a negative correlation with the human settlement environment. (2) Affected by the urban administrative level, the cultural environment of human settlements showed a spatial distribution pattern of the plain areas being low, the mountainous areas being high and it being higher for the cities and towns than the country areas. (3) The comprehensive index of human settlements environmental quality of the urban agglomeration in the Guanzhong Plain ranges from 0.216 to 0.716. The spatial distribution displayed in strip shapes which was gradually descended from the Guanzhong Plain to the Weihe Valley to the outer fringes. (4) The population density of the urban agglomeration in Guanzhong Plain is significantly consistent with the spatial distribution of human settlement environmental quality. The higher the quality of human settlements is, the greater the population density and the more adequate land use are.

Key words: human settlements quality; population distribution; synergism; the urban agglomeration in Guanzhong Plain